

Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre les inondations – Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l’Orb

Katrin Erdlenbruch ^a, Éric Gilbert ^b, Frédéric Grelot ^a et Christophe Lescoulier ^b

Par l’importance des dommages qu’elles provoquent au niveau humain, environnemental et économique, les inondations constituent un risque naturel majeur sur le territoire français. L’État et les acteurs locaux sont donc de plus en plus confrontés à des choix en matière de politiques publiques de prévention des inondations.

S’appuyant sur un cas d’étude réalisée dans une vallée de l’Hérault, les auteurs étudient dans cet article la pertinence d’une analyse coût-bénéfice basée sur la méthode des dommages évités. Ils proposent ainsi différentes formes de résultats pouvant contribuer à guider les gestionnaires vers une stratégie de prévention des inondations.

Malgré les différentes initiatives pour instaurer son utilisation systématique, l’évaluation économique des politiques publiques est très faiblement employée en France. Ce constat vaut également dans le cas des politiques de prévention des inondations, où l’analyse de la pertinence des projets s’arrête souvent à son expression en termes hydrauliques. Un des outils qui peut guider le choix en matière de politiques publiques de prévention des inondations est l’analyse coût-bénéfice (ACB) qui, à côté d’autres indicateurs mesurant les impacts sociaux ou environnementaux, est un critère important de pertinence d’un projet.

Une méthode peu utilisée en France

Plusieurs arguments sont couramment avancés pour expliquer l’utilisation sporadique de l’ACB dans le cadre des politiques de prévention des inondations en France. Tout d’abord, l’intérêt des financeurs publics pour cette méthode était faible jusqu’à très récemment. Alors que dans d’autres pays, comme les États-Unis ou le Royaume-Uni, l’application d’une analyse coût-bénéfice est prescrite par la loi et doit être réalisée pour tout projet important dans le domaine de l’eau et de l’environnement (Ledoux, 2006, 2003 ; MEDD, 2003), ce n’est pas le cas en France. Il en résulte une deuxième raison pour l’utilisation peu fréquente de la méthode : les données pour mener à bien une ACB ne sont pas souvent disponibles (Huet, 2000). La méthode n’étant pas répandue, il

n’y a pas d’incitation pour recueillir les données de façon systématique, par exemple lors des études de retour d’expérience. Enfin, un troisième argument plus fondamental concerne l’indicateur synthétique auquel aboutit la méthode. Comme cet indicateur est purement monétaire, l’accent est souvent mis sur les biens et services marchands alors que d’autres aspects peuvent être déterminants, comme la sécurité des personnes face aux inondations ou les impacts environnementaux et paysagers d’un aménagement. Du coup, l’évaluation économique peut être perçue comme trop mécanique (Angelier, 2006). De plus, le fait de tout traduire en un seul indicateur synthétique peut paraître réducteur. Certains craignent qu’un seul indicateur puisse cacher de l’information pertinente (Gendreau *et al.*, 1998). D’autres questions liées à cet indicateur se posent d’ailleurs : une seule valeur peut-elle résumer une situation complexe ? Quelle est la fiabilité du chiffre annoncé ? Comment sont traitées les incertitudes inhérentes à toute évaluation reposant sur une modélisation ?

Pourquoi faire une analyse coût-bénéfice (ACB) ?

Atouts de l’ACB

Pourtant, d’autres arguments militent en faveur de l’emploi de l’ACB comme outil d’aide à la décision : l’ACB aboutit à un indicateur synthétique pour juger de la pertinence d’un projet, ce qui est d’abord un atout (Henry, 1984) ; la démarche

Les contacts

a. Cemagref, UMR G-EAU, Gestion de l’eau, acteurs, usages, 361 rue J.-F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 05

b. EGIS Eau-BCEOM, 78 allée John Napier, 34965 Montpellier Cedex 2

peut également générer un indicateur économique de l'exposition au risque d'un territoire. Ces deux indicateurs contiennent de l'information intéressant non seulement le financeur du projet, mais aussi le gestionnaire d'un bassin versant qui met en place la politique de prévention des inondations. L'indicateur synthétique de l'ACB est construit pour apporter une réponse à des questions pratiques dont nous donnons quelques exemples : vaut-il mieux se protéger contre une crue centennale ou décennale ? Est-il plus intéressant de financer un projet d'aménagement ou d'améliorer la gestion de crise ?, etc. Elle permet de définir le montant des fonds qu'il convient d'allouer à la prévention du risque d'inondation et fournit ainsi un indicateur pour évaluer l'efficacité d'une politique de prévention, en comparaison d'une politique de réparation. Certes, la validité de l'indicateur proposé par l'ACB a ses limites. La littérature académique est d'ailleurs abondante à ce sujet (Arrow *et al.*, 1993), mais elle n'est pas arrivée à la conclusion que la méthode elle-même soit inadaptée. Cette méthode n'interdit pas, bien au contraire, la mise en débat constructive de projets complexes (Henry, 1984).

Objectif

L'objectif de cet article est de juger la pertinence de la réalisation d'une ACB, en se plaçant du point de vue d'un financeur qui doit décider de subventionner ou non un projet, mais également du point de vue d'un gestionnaire de bassin versant qui cherche à analyser l'exposition de son territoire aux inondations pour établir une stratégie de gestion préventive adaptée. Nous nous sommes volontairement appuyés sur une étude effectuée dans des conditions réalistes, avec des contraintes temporelles et budgétaires (étude réalisée sur une période de six mois avec un budget total de trente mille euros). La question posée est la suivante : une ACB succincte peut-elle apporter de l'information suffisamment intéressante pour les décideurs, les gestionnaires du bassin versant et les financeurs des projets de prévention du risque ?

Après avoir rappelé quelques concepts-clés de l'ACB et de la méthode des dommages évités, nous décrivons l'application qui en a été faite à la basse vallée de l'Orb. Ensuite, nous présentons les résultats obtenus et évaluons leur intérêt. Enfin, nous abordons la question de la transférabilité de la méthode à d'autres sites et nous discutons les perspectives de développement de la méthode.

Choix de la méthode : ACB et dommages évités

Une analyse coût-bénéfice se réalise en six étapes : i) définition du projet à évaluer et détermination de la limite de la zone d'étude ; ii) identification des impacts du projet par rapport à un scénario de base, sans projet ; iii) estimation de ces impacts par une quantification sommaire (souvent physique) ; iv) évaluation des impacts par quantification économique, en termes de valeurs accordées aux changements : c'est ici que sont mesurés les bénéfices du projet ; v) établissement d'un échéancier de coûts et bénéfices, application de l'actualisation et calcul de l'indicateur synthétique, la valeur actuelle nette ; vi) analyse de sensibilité mesurant l'impact de différentes hypothèses sur le résultat.

Quelle méthode pour mesurer les bénéfices ?

L'un des points essentiels de l'application de l'ACB réside dans le choix de la méthode pour mesurer les bénéfices des projets évalués. Plusieurs méthodes économiques sont mobilisables dans le cadre des projets de prévention des inondations (Shabman *et al.*, 1996). La méthode des prix hédoniques mesure les bénéfices à travers le marché immobilier ; elle compare la valeur d'un bien hors zone inondable à celle d'un bien équivalent en zone inondable (Bin, 2006 ; Déronzières, 2006). La méthode de l'évaluation contingente fait évaluer les bénéfices par les citoyens, en leur demandant par enquête leur consentement à contribuer financièrement à un projet de gestion des inondations (Brouwer et Bateman, 2005 ; Grelot, 2004 ; Zhai, 2006). La méthode des choix conjoints est une méthode d'enquête similaire à la méthode d'évaluation contingente, mais qui permet d'affiner le choix entre plusieurs projets. Enfin, la méthode des dommages évités repose sur l'estimation des dommages par des fonctions de production ou des relations « dose-réponse ». Elle mesure les dommages qui seraient évités grâce à la mise en œuvre du projet de gestion.

La présente étude s'appuie sur la méthode des dommages évités. C'est une approche interdisciplinaire, qui se trouve à l'intersection entre l'hydrologie, l'hydraulique et l'ingénierie économique. Le choix de la méthode des dommages évités découle du double objectif d'estimer l'exposition du territoire aux inondations et la pertinence d'un projet de prévention (Conseil général de l'Hérault, 2006), objectif auquel la méthode permet en effet

de répondre, par une approche spatialisée. Les autres méthodes d'évaluation des bénéfices ont probablement plus de potentiel pour prendre en compte des impacts sur la vie humaine, les pertes affectives ou les dommages environnementaux, mais elles sont beaucoup moins propices à l'estimation de l'exposition d'un territoire aux inondations et peuvent même nécessiter cette estimation comme préalable d'analyse.

Quatre concepts-clé : DMA¹, DEMA², VAN³ et taux d'actualisation

La mise en œuvre de l'ACB à travers la méthode des dommages évités nécessite la compréhension de quatre concepts-clés que nous rappelons ci-après : le dommage moyen annuel des inondations (DMA), les dommages évités moyens annuels (DEMA), la valeur actuelle nette (VAN) et le taux d'actualisation qui est le facteur de transformation des valeurs futures en valeurs actuelles.

LE DOMMAGE MOYEN ANNUEL (DMA)

Le DMA correspond à la somme pondérée des dommages, avec comme facteur de pondération la probabilité d'occurrence des crues. C'est la valeur espérée des dommages des inondations :

$$DMA = \int_{T_d}^{T=\infty} D(T) p(T) dT \quad (1)$$

avec $D(T)$: coût pour l'événement de période de retour T ; T_d : période de retour de l'événement débordant, c'est-à-dire de la plus faible crue qui crée des dommages (figure 1). Le DMA peut être calculé avant la réalisation du projet de protection contre les inondations (correspondant à l'état actuel) et pour tout scénario de réalisation de projet (correspondant à un état hypothétique, futur).

LES DOMMAGES ÉVITÉS MOYENS ANNUELS (DEMA)

Les DEMA sont donnés par la différence entre le dommage moyen annuel sans projet et le dommage moyen annuel avec projet : $DEMA = DMA \text{ (sans projet)} - DMA \text{ (avec projet)}$. Ils correspondent aux bénéfices attendus par la réalisation du projet (figure 1 : surface gris foncé). Il convient d'enlever les dommages additionnels éventuels que peuvent générer les aménagements.

LA VALEUR ACTUELLE NETTE (VAN)

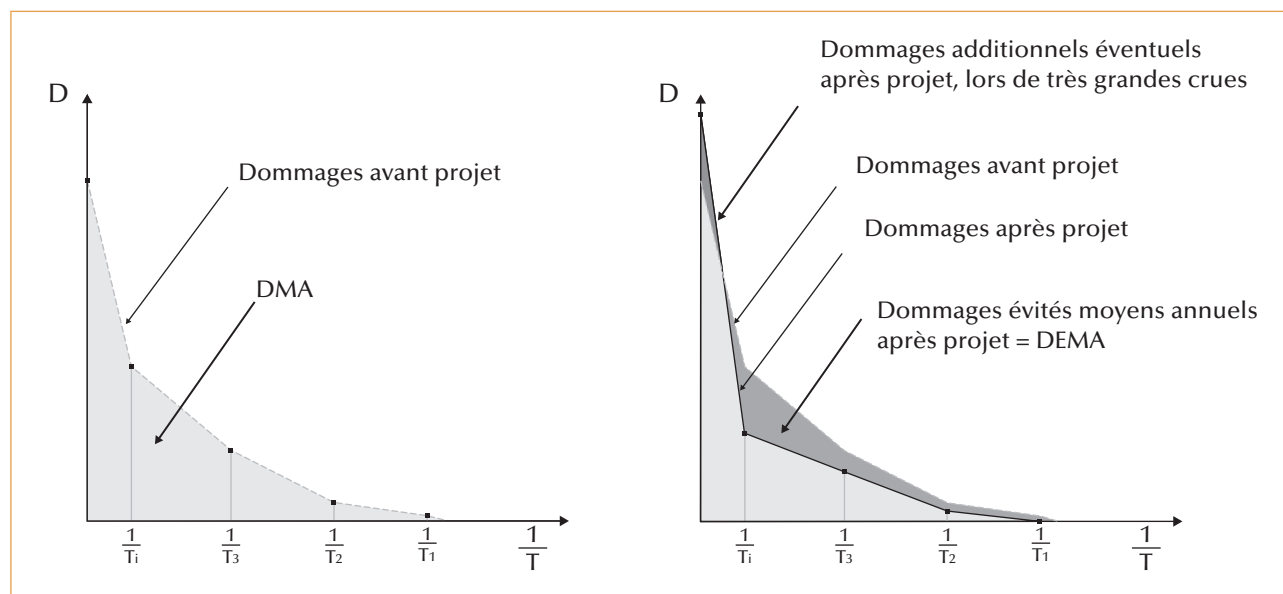
La VAN est un indicateur synthétique qui met en balance le montant de l'investissement réalisé et les bénéfices actualisés du projet. La VAN est calculée de la manière suivante :

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r_i)^i} (B_i - C_i) \quad (2)$$

1. Dommage moyen annuel.

2. Dommages évités moyens annuels.

3. Valeur actuelle nette.



▲ Figure 1 – Passage du dommage moyen annuel (DMA) aux dommages évités moyens annuels (DEMA).

4. Ceci implique un taux d'actualisation d'environ 0,03 pour une durée de projet de cent ans.

avec C_0 : le coût initial du projet (ici au temps $i = 0$), B_i : les bénéfices liés au projet (attendus à la période i), C_i : les coûts de fonctionnement du projet (à la période i), n : l'horizon temporel du projet et r_i : le taux d'actualisation, qui peut lui-même dépendre de la période i . Les bénéfices peuvent être mesurés par les dommages évités moyens annuels. Dans ce cas, $B_i = \text{DEMA}$. L'analyse coût-bénéfice peut être envisagée pour différents types de projets : par exemple, la réduction de l'aléa, la réduction de la vulnérabilité des enjeux, une action d'aménagement du territoire ou l'instauration d'une nouvelle politique réglementaire. À chaque fois, la valeur actuelle nette permet de comparer bénéfices et coûts actualisés et de juger de la pertinence du projet.

LE TAUX D'ACTUALISATION

Le Commissariat général du plan (CGP, 2005) définit l'actualisation de la manière suivante : c'est « ... l'opération mathématique qui permet de comparer des valeurs économiques qui s'échelonnent dans le temps : il s'agit de ramener la valeur future d'un bien, d'une dépense à une valeur actuelle... Le taux d'actualisation est un taux de substitution entre le futur et le présent ; il traduit la valeur du temps pour une entreprise ou une collectivité : c'est en quelque sorte le *prix du temps* ». Selon les recommandations du Commissariat général du plan, le taux d'actualisation de base s'élève à 0,04. Il est ensuite décroissant avec le temps à partir de trente ans pour approxi-

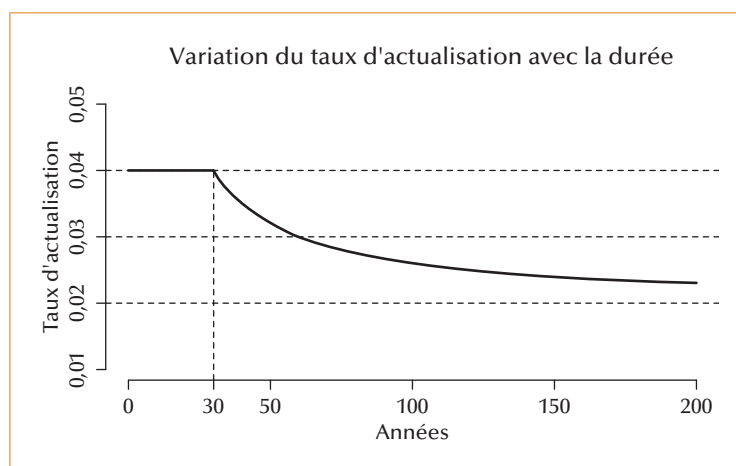
mer 0,02 à très long terme (figure 2)⁴. La formule proposée par le Commissariat général du plan est donnée par :

$$r_i = \begin{cases} 0,04 & \text{si } i \leq 30 \\ \sqrt[30]{1,04^{30} 1,02^{i-30}} & \text{si } i > 30 \end{cases} \quad (3)$$

L'HORIZON TEMPOREL

L'horizon temporel correspond à la durée sur laquelle sont considérés les flux de coûts et de bénéfices associés au projet. Il est parfois désigné par le terme « durée de vie du projet », mais ce terme est trompeur parce qu'il sous-entend que c'est la durée de la vie de l'aménagement qui doit être considéré, alors que l'horizon temporel dépend également de la fiabilité d'autres paramètres, comme l'occupation du sol. Il est important de noter qu'à l'instar du taux d'actualisation, l'horizon temporel n'est pas un paramètre qui doit être adapté de façon *ad hoc* à chacun des projets évalués, mais bien un paramètre qui doit être fixé à un niveau national pour favoriser une comparaison entre les différents projets de même nature. Malheureusement, en France, de telles préconisations n'existent pas, notamment dans le cadre des projets de prévention des inondations. Aux États-Unis, la FEMA⁵ conseille des horizons temporels compris entre trente-cinq et cent ans pour l'étude de projets de digues. Considérant que les hypothèses sur la stabilité de l'occupation du sol ne nous permettaient pas de nous projeter au-delà, nous avons pris, dans la présente étude, un horizon temporel de cinquante ans.

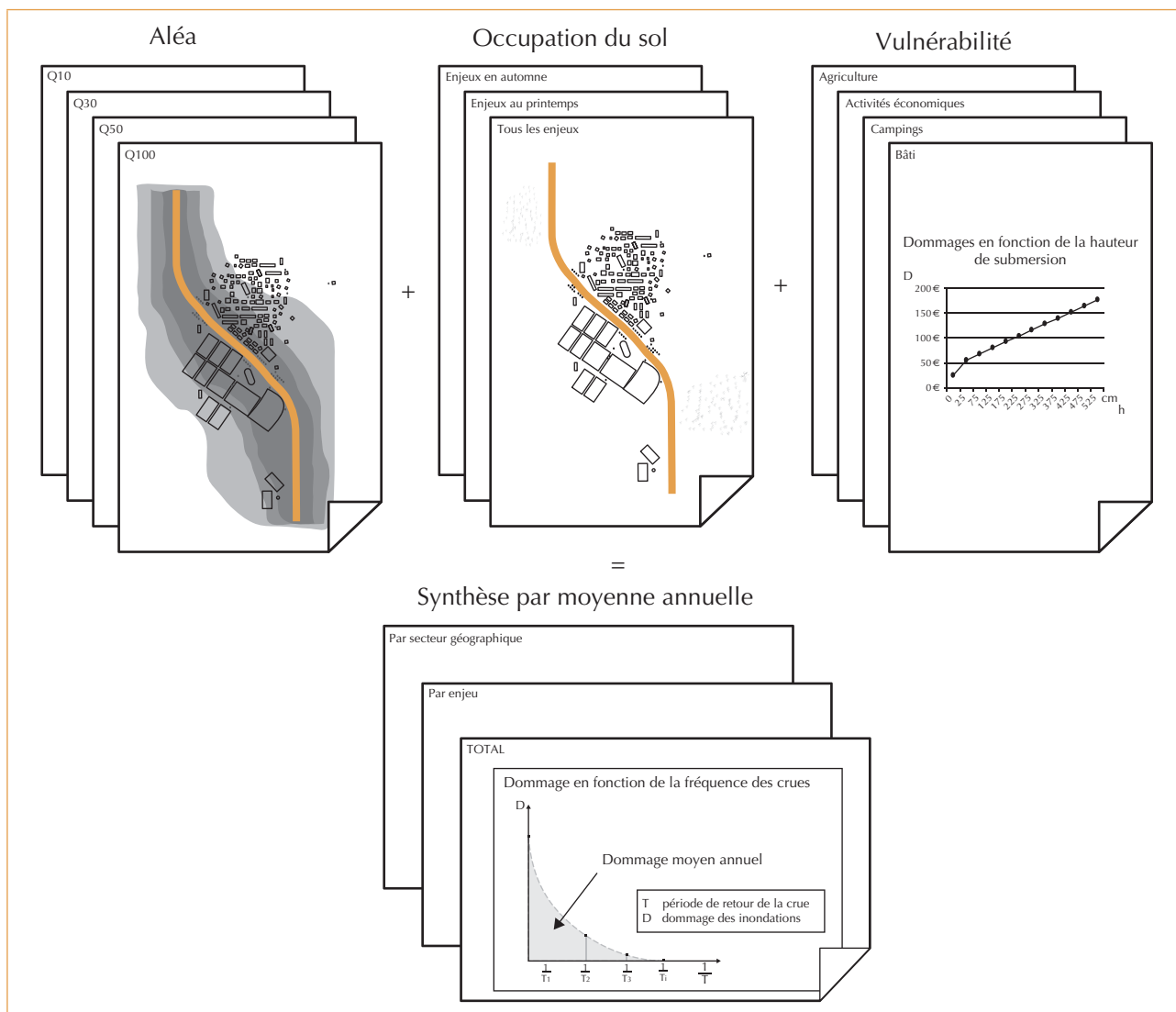
5. Federal Emergency Management Agency.



▲ Figure 2 – Décroissance du taux d'actualisation (source : Commissariat général du plan, 2005).

Déroulement d'une ACB spatialisée

Le calcul du dommage moyen annuel dans une ACB spatialisée s'effectue par croisement d'informations concernant l'aléa, l'occupation du sol et la vulnérabilité. Comme représenté dans la figure 3, ce calcul nécessite la connaissance des zones d'expansion de crues et des caractéristiques de submersion pour plusieurs événements débordants. Ces informations sont superposées avec des cartes d'occupation du sol, contenant des informations sur le type d'enjeux, leur localisation et leur taille. Pour chaque type d'enjeu et chaque caractéristique de submersion, des courbes de dommages traduisent ensuite l'événement physique en un dommage monétaire. La surface sous la courbe de dommages de tous les enjeux en fonction de la fréquence des crues correspond au dommage moyen annuel (DMA).



▲ Figure 3 – Croisement d'information et synthèse en dommage moyen annuel.

La démarche effectuée pour la situation sans projet peut ensuite être répliquée pour la situation avec projet, ce qui permet de calculer les dommages évités moyens annuels, indicateur des bénéfices, comme le montre la figure 4. Les coûts sont échelonnés dans le temps et comprennent des coûts d'investissement, les coûts d'acquisition du foncier, les coûts de fonctionnement et d'entretien de l'ouvrage et les coûts de gestion du projet. Enfin, le signe de la valeur actuelle nette permet de juger si le projet est efficient d'un point de vue de la collectivité, ou pas.

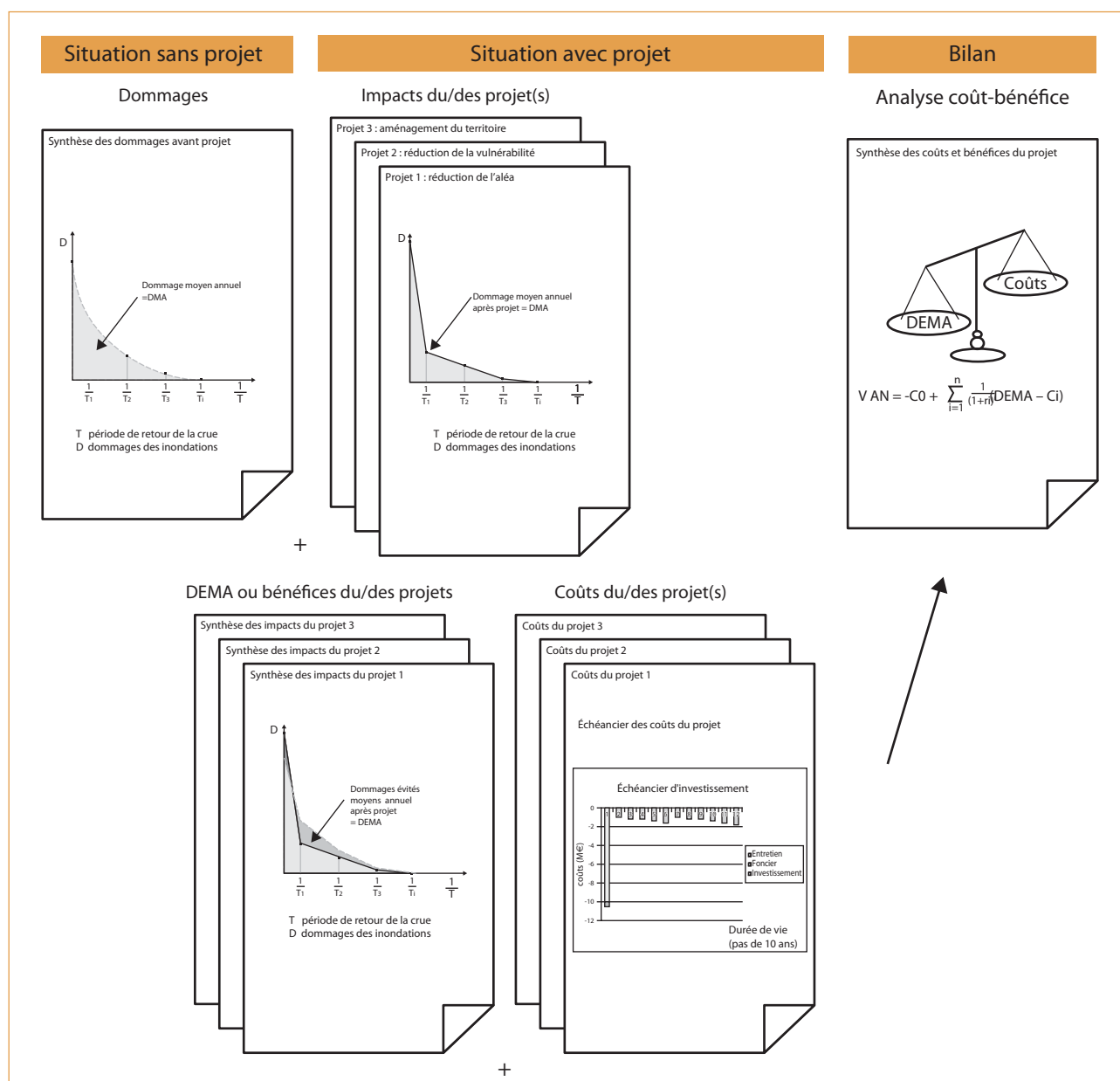
Application de la méthode au bassin versant de l'Orb

Contexte de l'étude effectuée

Nous présentons ci-après une application de l'analyse coût-bénéfice spatialisée et de la méthode des dommages évités dans le cas de la basse vallée de l'Orb (département de l'Hérault).

L'ORIGINE DE LA DEMANDE

Cette étude a été sollicitée par le conseil général de l'Hérault (2006) en vue de développer une



▲ Figure 4 – Croisement d'information et synthèse en valeur actuelle nette.

6. Communication d'une personne du conseil général de l'Hérault.

méthode de travail reproductible sur d'autres secteurs de son territoire. Le conseil général s'intéresse à l'analyse coût-bénéfice à plusieurs titres, en tant que maître d'ouvrage et financeur : « pour avoir une meilleure appréciation du niveau de pertinence économique d'un projet, pour prioriser des investissements sur un territoire,

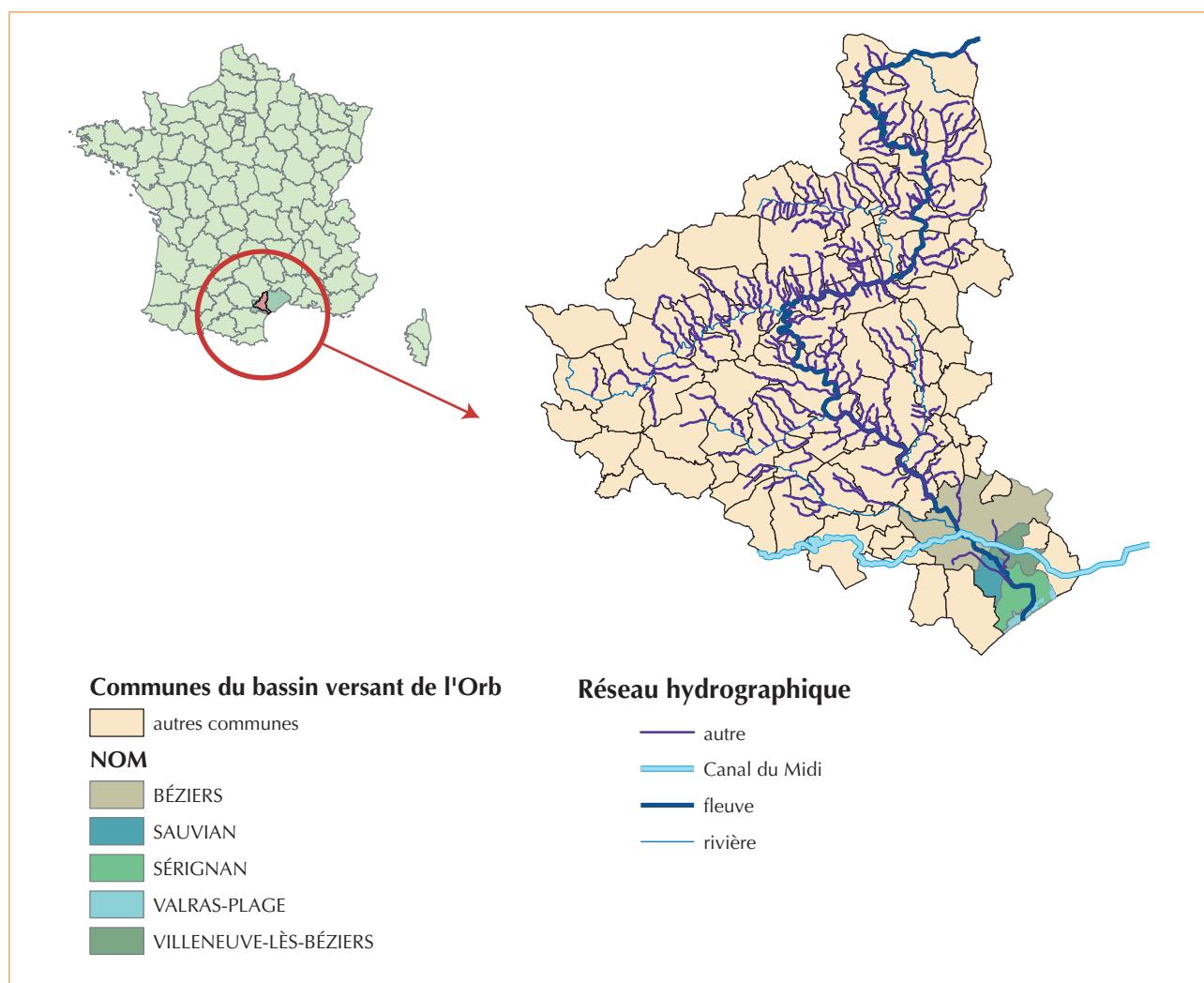
pour optimiser le dimensionnement des travaux, pour évaluer des mesures compensatoires au droit d'enjeux négativement impactés par l'aménagement »⁶.

L'étude s'insère dans le cadre d'un projet européen qui compare les démarches de prévention des risques d'inondation dans les zones forte-

ment urbanisées de différents pays : le projet INUNDA du programme INTERREG III C. En concertation avec le syndicat mixte de la Vallée de l'Orb (SMVO) et le syndicat Béziers-la-Mer, le conseil général de l'Hérault a choisi le delta de l'Orb comme zone d'étude pilote, car i) de nouveaux projets d'aménagements sont prévus sur le bassin versant ; ii) l'existence d'un modèle hydraulique permet la simulation de différentes crues ; iii) il existe une étude économique sur les conséquences globales de la dernière grande crue et iv) des acteurs du terrain sont ouverts à une démarche transparente d'évaluation de leur politique, sous forme d'une analyse coût-bénéfice.

LA ZONE D'ÉTUDE : LA BASSE VALLÉE DE L'ORB

Le bassin versant de l'Orb est soumis au régime torrentiel méditerranéen et subit des crues fréquentes (1953, 1987, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 2005 par exemple). Quinze mille personnes (soit 10 % de la population du bassin versant) sont régulièrement exposées aux débordements de l'Orb et de ses principaux affluents. Treize mille cinq cents hectares se trouvent en zone inondable dont cinq mille six cents hectares sur la seule région du delta sur laquelle porte notre étude (BCEOM, 2000). Le terrain d'étude est composé des six communes aval du bassin versant, à partir de Béziers jusqu'à la mer : Béziers, Portiragnes, Sauvian, Sérignan, Valras-Plage et Villeneuve-lès-Béziers.

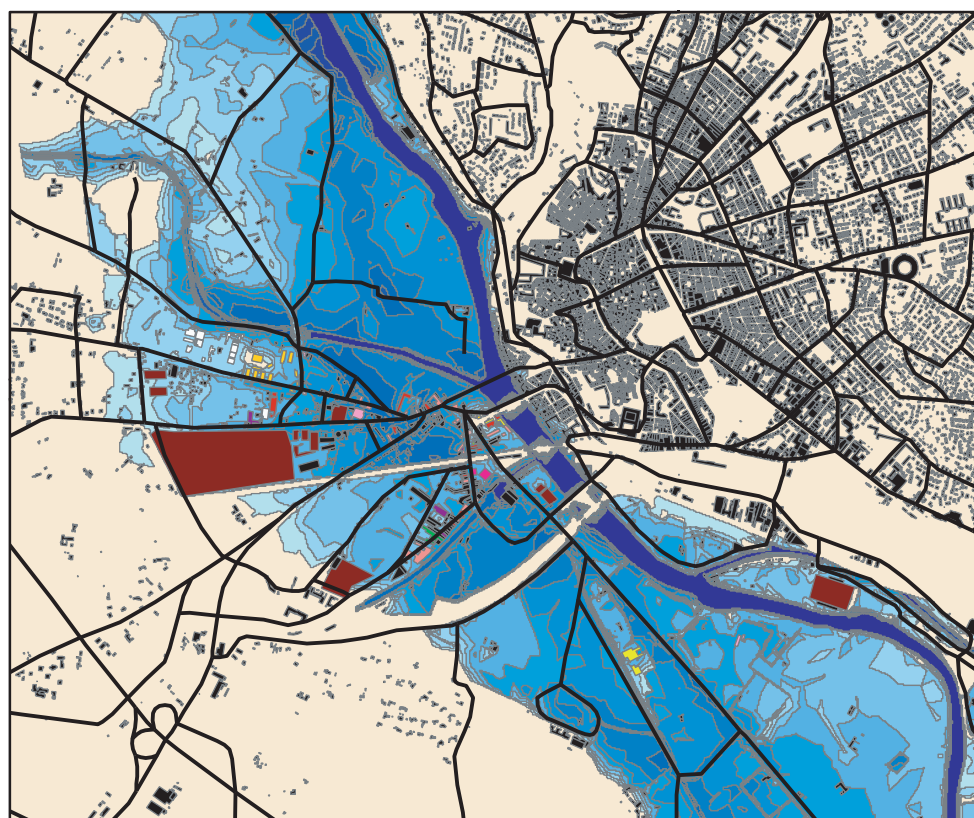


▲ Figure 5 – La zone d'étude : cinq communes du bassin versant de l'Orb (source : couches SIG SMVO ; carte : K. Erdlenbruch).

► Figure 6 – Le bâti et les activités lors d'une crue centennale
– Source : Cadastre (bâti), modèles à casier SIEE-BCEOM⁷ (hauteur d'eau), enquête (localisation activités), INSEE⁸.

7. Deux sociétés françaises d'ingénieries pour l'eau et l'environnement.

8. Institut national de la statistique et des études économiques. (nomenclatures activités).



Activités économiques

	Agriculture, chasse, sylviculture
	Industrie manufacturière
	Production et distribution d'électricité, de gaz et d'eau
	Construction
	Commerces
	Commerce et réparations automobile
	Hôtels et restaurants
	Transports et communications
	Activités financières
	Immobilier, location et services aux entreprises
	Administration publique
	Education
	Santé et action sociale
	Services collectifs, sociaux et personnels

Hauteur d'eau pour une crue centennale

	0-0,5 m
	0,5-1 m
	1-1,5 m
	1,5-2 m
	2-2,5 m
	2,5-3 m
	3-3,5 m
	3,5-4 m
	4-4,5 m
	4,5-5 m
	> 5 m

Bâtiments

	Surface Bâti
--	--------------

En 2001, un schéma de protection contre les inondations a été élaboré par le syndicat Béziers-la-Mer, qui propose des protections structurales : des endiguements rapprochés, le rétablissement

des exutoires en mer et l'amélioration de l'hydraulicité dans la traversée de Béziers. Un programme d'actions de prévention des inondations (PAPI), élaboré en 2003, comprend en outre des mesures

dites « non structurales », telles que l'élaboration de plans communaux de sauvegarde (PCS), la sensibilisation de la population ou la pose de repères de crues (Chauviteau *et al.*, 2006). L'effet des aménagements est évalué à travers l'analyse coût-bénéfice présentée ici, l'effet des mesures non structurales n'est pas pris en compte.

Modélisation des dommages

MODÉLISATION DE L'ALÉA : LES CRUES

Les zones d'expansion de crues sont générées à l'aide du modèle à casier pour quatre différents types de crue : décennale, trentennale, cinquantennale et centennale. Le modèle fournit donc l'enveloppe des crues et permet de simuler la hauteur de submersion. Des classes de hauteurs d'eau ont été constituées, avec un pas de 50 cm.

MODÉLISATION DE L'OCCUPATION DU SOL FACE AUX CRUES

Pour notre étude, nous avons classé les enjeux en cinq grandes catégories : bâti, agriculture, réseaux routiers, activités économiques, campings. Cette typologie de l'occupation du sol est semblable à d'autres, proposées dans la littérature, mais connaît tout de même deux particularités. D'abord, le bâti ne se réfère pas aux seules habitations individuelles mais inclut toute installation en dur comme les établissements recevant du public, les fermes et exploitations agricoles, les bâtis d'accueil et de restauration des campings. Ensuite, les campings ne sont pas compris dans les activités économiques mais répertoriés à part, en raison de l'importance de cette activité dans la vie économique du bassin versant⁹ et parce qu'ils constituent un enjeu particulier dans la zone d'étude : sur les trente-cinq campings des communes étudiées, vingt et un se trouvent en zone inondable.

Les enjeux sont répertoriés sur les cartes d'occupation de sol (avec des précisions différentes selon le type d'enjeu) et croisés avec les informations de submersion.

À chaque enjeu est ensuite appliqué un dommage, selon un calcul différent. Nous décrivons dans la suite les hypothèses et modèles qui ont été appliqués à chacun des enjeux.

Le bâti

Le bâti est représenté par les couches SIG¹⁰ du cadastre numérisé (ou de la photorestitution). En croisant cette couche du cadastre avec celle des différentes zones d'expansion de crues, on obtient

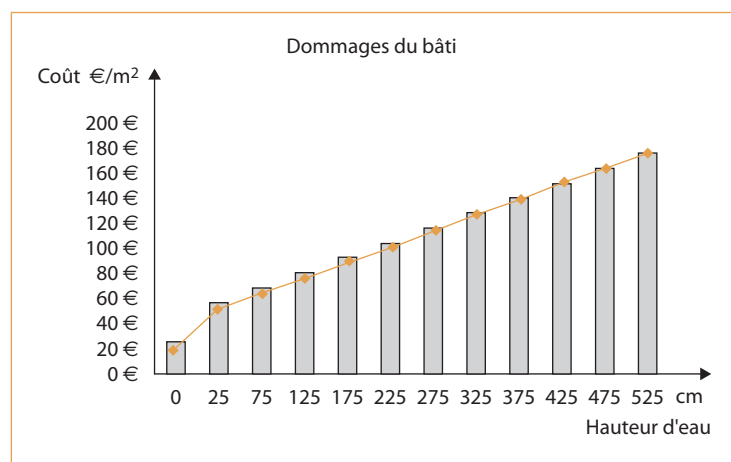
de nouveaux polygones « bâti », en fonction de la hauteur d'eau, auxquels on applique la courbe des dommages. La vitesse et la durée de submersion ne sont pas prises en compte.

Pour construire la courbe des dommages du bâti, nous nous sommes basés sur l'étude de Torterotot qui, en 1988, avait effectué des enquêtes sur la vulnérabilité de l'habitat aux inondations auprès de plus de trois cents foyers, situés dans la zone d'étude (Torterotot, 1993). Torterotot propose des courbes de dommages surfaciques par étage et par catégorie de bâti (distinguant par exemple les bâtiments sans cave des bâtiments avec cave, les lieux où le mobilier a été déplacé des lieux où il a été laissé en place). Chaque courbe résulte d'une régression linéaire effectuée sur un nuage de points de dommages réels. Nous avons adapté ces données à la situation en 2005 en réestimant la surface moyenne d'un étage et l'évolution de son prix depuis 1993¹¹, et nous avons construit une courbe moyenne des dommages pour un bâtiment de notre zone d'étude (supposant une équirépartition entre les bâtis avec cave et sans cave, les bâtis avec ou sans protection individuelle). La courbe a ensuite été corrigée pour prendre en compte l'occupation effective des premiers étages et le niveau du premier plancher des bâtis. Basé sur une visite du terrain, il a été estimé que 50 % des rez-de-chaussée sont utilisés pour l'habitation. L'autre moitié est constitué de hangars et garages ou d'activités économiques, comptabilisées par ailleurs. Les premiers planchers du bâti sont surélevés de 50 cm en moyenne. Il en résulte la courbe de dommages de la figure 7.

9. Le tourisme est la première activité économique de la région, à côté de l'agriculture.

10. Système d'information géographique.

11. Selon les données de la FNAIM (Fédération nationale de l'immobilier) et de l'indice du coût de la construction entre 1993 et 2005.



▲ Figure 7 – Courbe de dommages du bâti : dommages en fonction de la submersion

L'agriculture

L'occupation du sol agricole est donnée par la cartographie de Corine Land Cover 2000. Seuls les dommages aux cultures et les pertes d'exploitation sont évalués. Les dégâts aux fermes et maisons agricoles sont déjà compris dans la catégorie « bâti ». Le matériel agricole est supposé ne pas être touché par les inondations, les coûts de ressuyage et de nettoyage sont négligés. Nous distinguons les dégâts aux vignes, qui couvrent la majeure partie des terrains agricoles dans la basse vallée de l'Orb, des dégâts aux autres cultures. Les dégâts aux autres cultures sont calculés selon un ratio d'occupation du sol basé sur la moyenne du département, qui prend en compte les cultures suivantes : blé dur, maïs, tournesol, raisins de table, pêchers, pommiers et cerisiers.

Les dommages aux cultures dépendent de la saison à laquelle l'inondation survient, de la durée et de la hauteur de submersion. Des études hydrologiques suggèrent que les crues de l'Orb sont plutôt automnales, voire hivernales, et que les durées de submersion sont inférieures à une semaine. Suite à des enquêtes, il a été décidé de prendre en compte la hauteur de submersion de la manière suivante : les récoltes des cultures saisonnières sont détruites dès qu'une parcelle est inondée ; les plantes pérennes, comme les arbres fruitiers, sont détruites au delà de 1,50 m d'eau¹².

Les pertes d'exploitation sont estimées à partir du produit brut de l'exploitant¹³, pour différentes cultures et différentes phases du cycle cultural. Le principe est le suivant : si l'inondation survient en période de récolte, l'intégralité du produit brut est perdue ; si l'inondation survient alors que la culture n'est pas en place, aucun dégât n'est subi ; enfin, pendant les périodes de présence de culture mais hors période de récolte, les dégâts sont fonction de la proximité de la période de récolte.

Les réseaux routiers

Les dommages aux réseaux routiers sont évalués à partir des informations de la BD Carto® de l'IGN¹⁴. Les dommages dépendent du linéaire de route inondé et sont tirés d'un rapport de retour d'expérience des dernières crues (Conseil général de l'Hérault, 1996). Sont distingués : les dommages aux routes départementales et les dommages aux routes communales. Les routes nationales et l'autoroute sont hors d'eau.

Les activités économiques

Les activités économiques ont été recensées à l'aide de listes d'adresses des chambres consulaires, classées selon la nomenclature de l'INSEE et géo-référencées. Il en résulte une couche SIG des surfaces par type d'activité. Comme pour le bâti, le croisement avec les couches des zones d'expansion de crues permet de disposer d'une nouvelle couche activités économiques, en fonction de la hauteur de submersion (figure 6). Pour construire les courbes de dommages, il aurait fallu effectuer une enquête auprès d'un échantillon représentatif d'entreprises de la zone d'étude. Nous n'avons pas pu effectuer cette enquête pour toutes les activités économiques, c'est la raison pour laquelle nous nous basons ici sur les courbes de dommages d'une étude existante (Queensland Government, 2002). Comme pour le bâti, nous supposons les planchers d'être surélevés de 50 cm en moyenne et nous ramenons les données à la situation de 2005 en France. Nous utilisons le même indice de coût à la construction pour traduire les données 1993 en données 2005, mais nous adaptons aussi les données selon la différence du niveau de vie en France et en Australie ; enfin nous appliquons le taux de change. Les dommages ainsi calculés ne représentent que les dommages matériels. Pour prendre en compte les pertes d'exploitation, l'étude citée préconise un ajustement par un facteur correctif $K = 1,55$. L'utilisation de cette étude pour évaluer les dommages réels aux activités économiques semble tout de même délicate. C'est la raison pour laquelle les résultats concernant les activités économiques ne sont qu'indicatifs. Pour tester une approche méthodologique plus correcte (mais tout en respectant le temps imparti pour l'étude), nous avons considéré à part l'activité économique la plus importante de la basse vallée de l'Orb : les campings.

Les campings

La couche d'occupation du sol permet de situer les campings et de connaître leurs superficies. Une connaissance plus fine est nécessaire pour comprendre la vulnérabilité de ces enjeux aux inondations et les équipements concernés. Pour ce faire, nous avons mis en place une grille d'entretien détaillée (Torterotot, 1993). Treize des vingt et un gestionnaires ont répondu à ces entretiens qui sont à la base de la modélisation suivante. À chaque camping est associée une densité

12. La vulnérabilité des cultures par rapport à la submersion est dérivée d'une étude de la chambre d'agriculture du Gard (2005).

13. Les données de rendements moyens proviennent du Centre d'économie rurale.

14. Base de données cartographiques de référence de l'Institut géographique national.

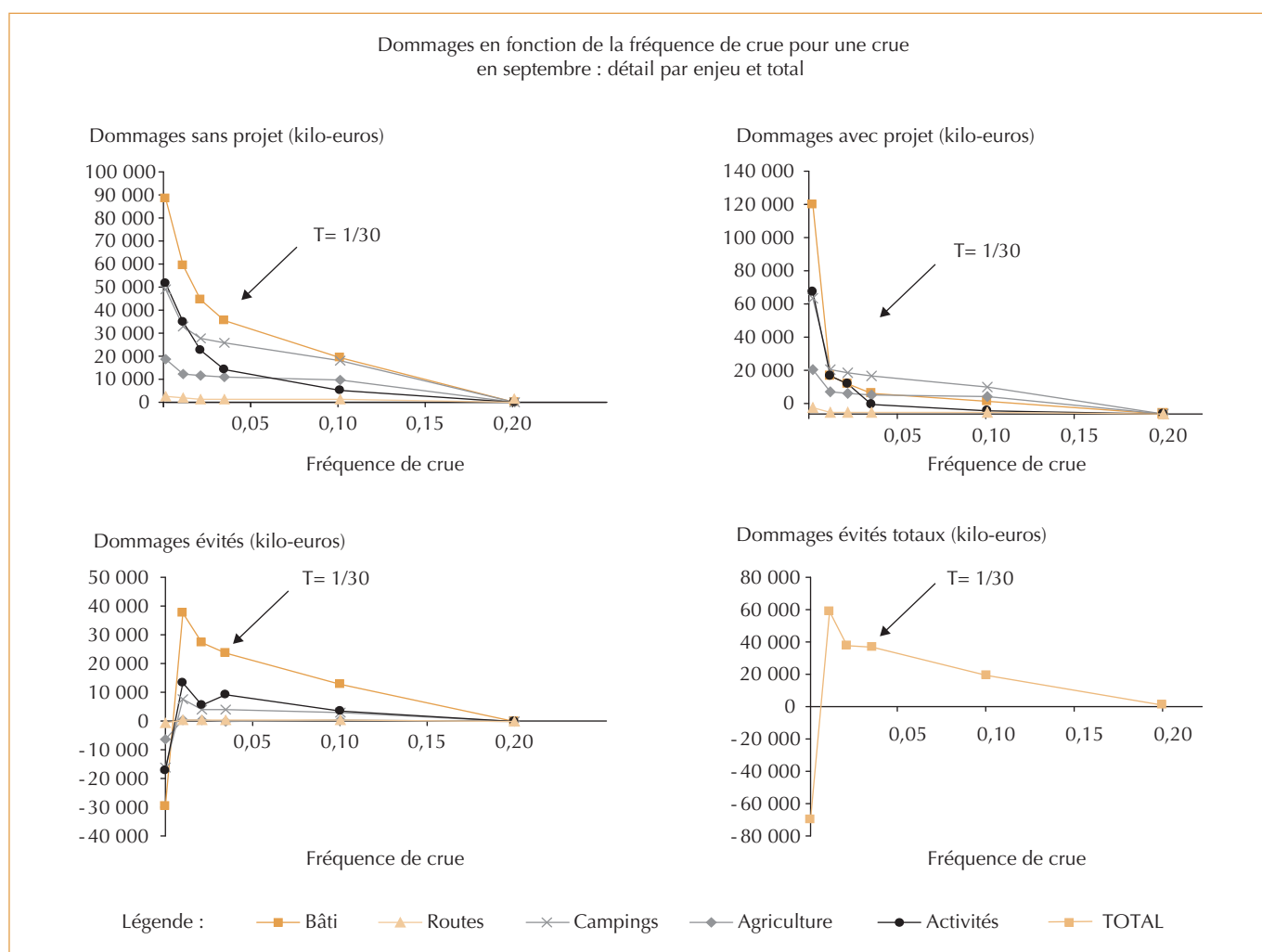
d'occupation de différents éléments de location : emplacement pour tente, mobil-home, caravanes (supposés être repartis de façon homogène sur chaque camping). Les courbes de dommages sont appliquées à ces éléments de location. Nous modélisons ici à la fois les dommages structurels aux différents éléments de location et les pertes d'exploitation. Les dommages aux structures dépendent de la hauteur de submersion, du nombre et du prix des équipements. Les pertes d'exploitation dépendent de la hauteur de submersion, de la durée de remise en état de chaque élément et de la saison de survenance de la crue ; en effet, la saison détermine le taux d'occupation du camping et le tarif du camping, qui expliquent la perte des revenus de location. Comme pour les autres enjeux, le croisement des couches d'occupation du sol et des couches de

zones d'expansion de crue permet de calculer les dommages pour différents scénarii d'occurrence de crues.

Calcul de l'indicateur synthétique : la VAN

La modélisation précédente permet de calculer les DMA et les DEMA, puis de comparer les bénéfices et coûts du projet à travers le calcul de la VAN. Les courbes de dommages calculés pour l'étude de l'Orb sont représentées sur la figure 8 (crue en septembre). Si les dommages évités de la politique de prévention sont négatifs pour de très grandes crues (de faible fréquence), ceci est dû à l'hypothèse que l'aménagement (des digues) a été prévu pour la période de retour de cent ans. Au-delà, la présence des digues est supposée renforcer les dommages éventuels.

▼ Figure 8 – Dommages par enjeu et dommages évités totaux.



▼ Tableau 1 – Les données utilisées pour l'étude de la basse vallée de l'Orb.

Données	Aléa	Occupation du sol	Vulnérabilité
Format final	Modèle à casier	Ensemble de cartes	Modèle de dommages
Type de données	Résultats de simulations par période de retour : – hauteur d'eau, – zones d'expansion de crues.	SIG : – localisation des enjeux, – type d'enjeux, – taille des enjeux.	Résultats de simulations par période de retour, par enjeux, par saison : – dommages matériels, – dommages indirects.
Support de données	Casiers géoréférencés	– Corine Land Cover, – fonds cadastral, – orthophotos.	Courbe de dommages par type d'enjeux

► Tableau 2 – Les données utilisées pour la construction de la fonction vulnérabilité.

Vulnérabilité	Bâti	Cultures	Activités	Camping	Routes
Facteurs explicatifs : – hauteur d'eau, – durée de submersion, – vitesse des eaux, – saisonnalité.	X	X X X	X	X X X	X X
Impacts pris en compte : – dégâts à la structure, – pertes d'exploitation.	X	X	X X	X X	X
Forme du support spatial : – surfacique, – ponctuel, – linéaire.	X	X	X X	X	X

Dans notre exemple, les DEMA s'élèvent à quatre millions d'euros (chiffres arrondis), les coûts d'investissement à 31,9 millions d'euros et les coûts de fonctionnement à 3 % des coûts totaux. Nous avons supposé un horizon temporel de cinquante ans. Ceci nous donne donc le calcul suivant (en million d'euros) :

$$VAN = -31,9 + \sum_{i=1}^{50} \frac{1}{(1+r_i)^i} (4 - 0,96) \quad (4)$$

En supposant le taux d'actualisation donné (voir plus haut), nous obtenons alors une valeur actuelle nette de trente-six millions d'euros. La VAN étant positive, le projet est efficient selon

la règle de l'analyse coût-bénéfice (règle de Kaldor-Hicks) et devrait donc, d'un point de vue strictement économique, être réalisé.

Analyse de sensibilité

Dans l'analyse de sensibilité, nous avons exploré l'impact de différentes hypothèses sur le résultat. Nous avons par exemple analysé l'importance des paramètres intervenant dans le calcul des DEMA, comme la saison des crues ou la période de retour de la plus grande crue modélisée. Nous avons aussi testé l'importance d'autres paramètres de la VAN, par exemple la durée de vie du projet ou le taux d'entretien des ouvrages. La description de cette analyse de sensibilité fera l'objet d'une autre publication.

Un point sur les données

LES DONNÉES UTILISÉES POUR L'ORB

Le tableau 1 synthétise les données utilisées dans notre étude. Il détaille leur format, leur type et leur support, selon la catégorie d'information (concernant l'aléa, l'occupation du sol et la vulnérabilité).

LES DONNÉES NÉCESSAIRES POUR EFFECTUER L'ÉTUDE AILLEURS

Les modèles développés ici peuvent être appliqués à d'autres bassins versants, à condition que la typologie d'enjeux soit comparable¹⁵. Les données doivent être recueillies sur chaque bassin versant. Plusieurs types de données sont nécessaires.

- La description (ou définition) de deux situations du bassin versant :

– la situation actuelle qui correspond à la situation sans projet ;

– la situation avec projet qui comprend l'impact du projet sur son environnement et le coût du projet.

- Des données hydrologiques et hydrauliques sur :

– au moins trois crues de période de retour différente : une faible crue, une crue moyenne, une forte crue (nota : dans notre étude, le rajout d'une quatrième crue n'a pas ajouté énormément d'information supplémentaire, comme l'a montré l'analyse de sensibilité) ;

– la première crue dommageable (à défaut la crue débordante) ;

– les conséquences éventuelles d'une très grande crue.

- Trois couches de SIG pour caractériser l'occupation du sol :

– une occupation du sol qui permet de distinguer les zones rurales et urbaines, telle que Corine Land Cover ;

– une description plus précise de l'enjeu bâti comme le cadastre (numérisé) ou le fonds cadastral ;

– la BD Cartho® pour localiser les réseaux (routiers).

- Des enquêtes sont préférables pour la localisation précise des activités économiques et des parcelles agricoles.

- Pour la vulnérabilité : voir le tableau 2.

Le tableau 2 représente les informations nécessaires pour la description de la vulnérabilité enjeu par enjeu, dans le cas où le modèle appliqué est celui que nous avons présenté.

15. Pour la caractérisation des activités économiques, il semble préférable d'effectuer une enquête locale.

Résultats

Cartes de représentation des résultats

Les résultats peuvent être représentés de façon synthétisée ou détaillée. À titre d'exemple, nous avons choisi deux représentations complémentaires.

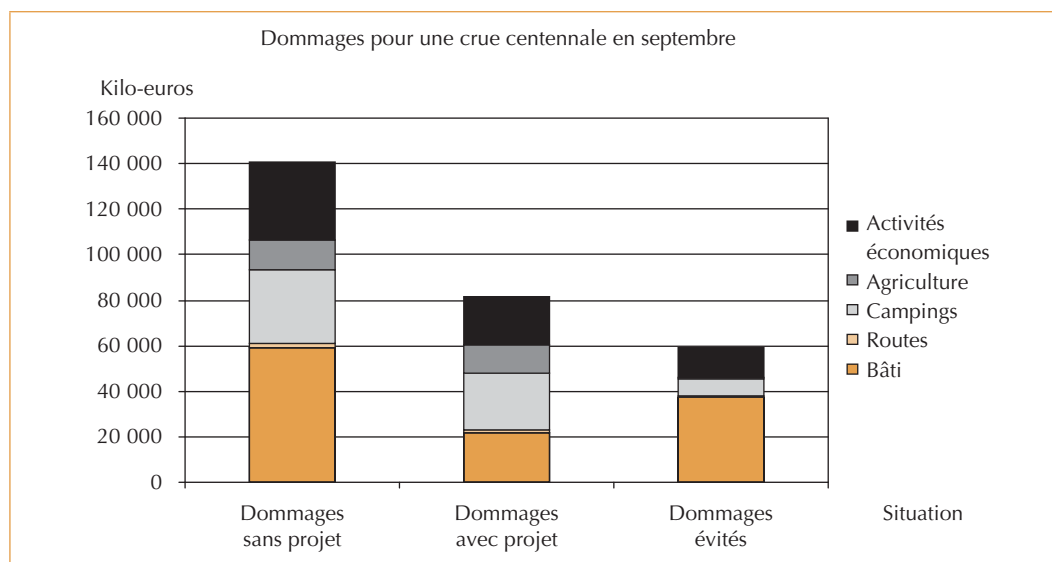
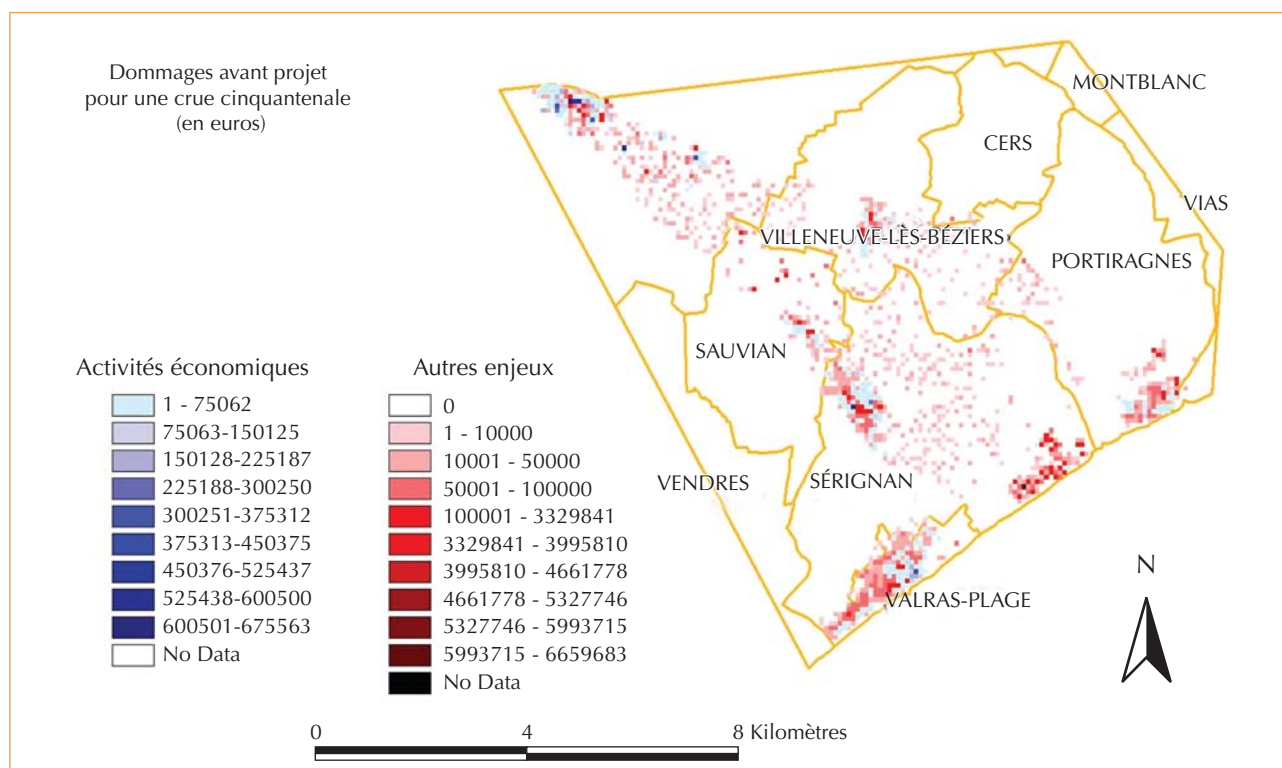
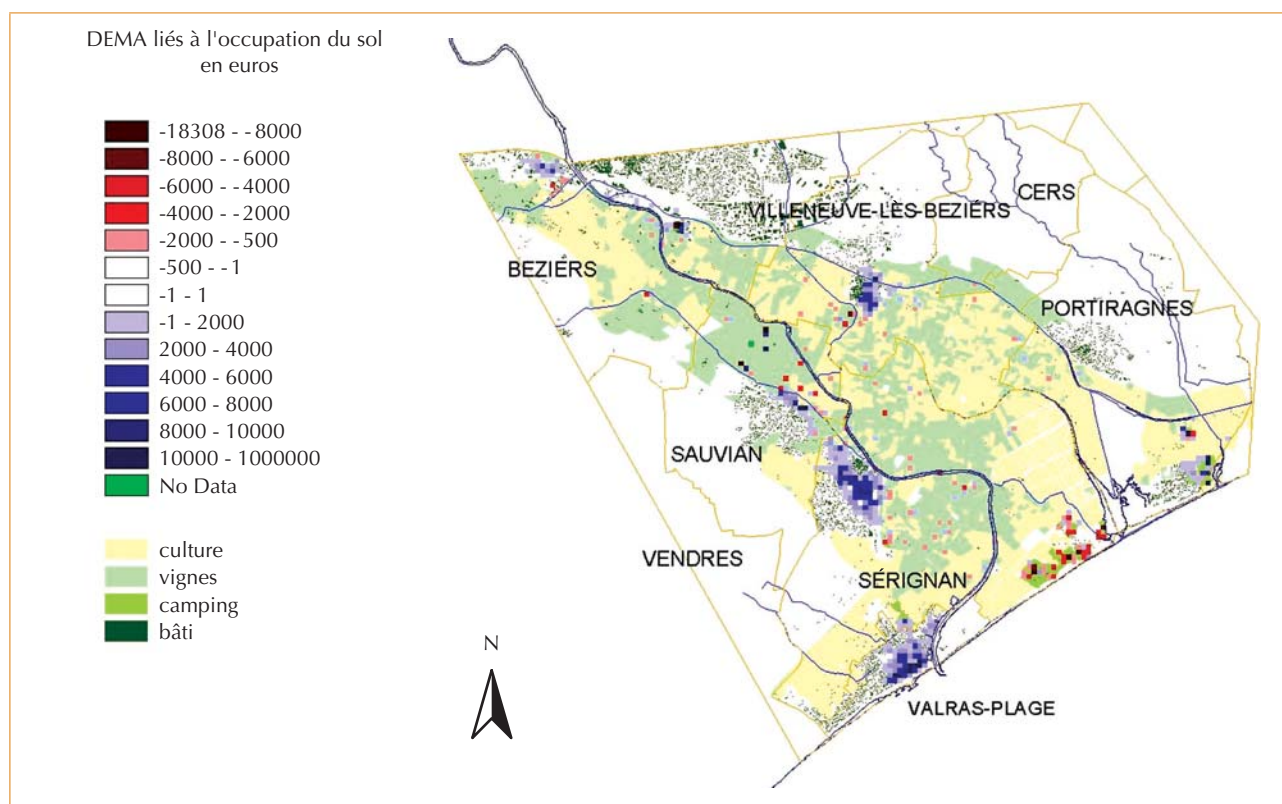


Figure 9 – Contribution de chaque secteur aux dommages et dommages évités.



▲ Figure 10 – Cartes de l'exposition au risque, mesuré à l'aide des dommages (source : auteurs et Voie d'approfondissement « Eau » de l'École nationale du génie rural, des eaux et forêts.).



▲ Figure 11 – Carte des impacts de la politique de prévention mesurés à l'aide des DEMAs (source : auteurs et Voie d'approfondissement « Eau » de l'École nationale du génie rural, des eaux et forêts.).

res des résultats : la première décline les impacts du projet pour chaque secteur, la deuxième donne une représentation spatiale des bénéfices du projet.

L'ANALYSE SECTORIELLE

La figure 9 représente les dommages avant et après projet ainsi que les dommages évités par le projet pour chaque secteur (cas de crue centennale en septembre).

Deux secteurs génèrent des dommages importants dans le scénario sans projet : le bâti et les activités économiques (y compris les campings).

Le secteur agricole et les routes sont peu touchés. Après projet, le bâti est bien mieux protégé car il représente un poids important dans les dommages évités. Les campings et les activités économiques restent susceptibles de générer des dommages, même s'ils connaissent aussi des dommages évités.

L'ANALYSE SPATIALE

La carte des dommages et de l'exposition au risque

La figure 10 représente les dommages par unité de surface pour une crue donnée. Ceci permet de représenter les lieux géographiques qui sont générateurs de dommages. L'exposition au risque est d'autant plus forte que la couleur de l'enjeu est foncée¹⁶. Nous aurions pu élaborer le même type de carte à l'aide de l'indicateur *DMA avant projet* et ainsi générer une carte synthétique de l'exposition au risque du territoire. Le rendu ressemble à ce que la méthode « inondabilité » cherche à faire (Gendreau *et al.*, 1998), mais il est basé sur un indicateur calculé plutôt que négocié, ce qui rend son application plus immédiate. Certes, on peut imaginer d'autres indicateurs synthétiques de l'aléa et de la vulnérabilité mais le DMA comporte l'avantage d'une certaine objectivité.

La carte des bénéfices du projet

À l'aide de l'indicateur des DEMA, calculé auparavant, nous pouvons représenter l'impact de la politique de prévention choisie. La couleur gris indique les endroits où la politique de prévention améliore la situation (les DEMA sont supérieurs à zéro). La couleur rouge indique les endroits où la politique de prévention aggrave localement la situation.

Quelle stratégie de gestion des inondations ?

L'ACB permet de répondre à de nombreuses questions que se posent les élus et décideurs : quel type d'occupation du sol protège-t-on de manière efficiente ? Protège-t-on uniquement des zones habitées ? Y a-t-il des impacts négatifs dans les zones agricoles ? Sur quelle commune se trouvent les impacts ? En effet, effectuer une analyse coût-bénéfice consiste non seulement à calculer un seul indicateur final, la VAN, mais aussi à préciser les dommages potentiels des inondations et les bénéfices du projet de prévention, et enfin de présenter les résultats par enjeu et par secteur géographique. Nous avons ainsi pu déterminer les secteurs qui restent très concernés par les inondations (comme certains campings au bord de la mer) et ceux qui sont bien protégés par les projets prévus (le bâti).

La représentation détaillée des résultats peut aussi contribuer à augmenter la transparence du processus de décision qui suit une ACB : les cartes générées peuvent par exemple servir dans une discussion avec les acteurs concernés. Mais détailler l'information permet aussi de déterminer les secteurs pour lesquels il serait intéressant d'effectuer des études supplémentaires. Dans notre cas, nous avons conclu qu'il serait important de lancer une étude supplémentaire pour connaître la hauteur moyenne des rez-de-chaussée du bâti.

L'analyse coût-bénéfice peut être un élément d'information dans la conception de nouveaux projets. Notre analyse démontre par exemple l'importance de considérer les crues de faible importance. Comme le montrent les graphiques de la figure 8, les dommages moyens annuels sont importants pour les crues de faibles fréquences. La surface du dommage moyen annuel en deçà de la crue trentennale est plus grande que celle au-delà de la trentennale. Ne serait-il pas intéressant de prévoir des politiques de protection contre les crues fréquentes plutôt que de se protéger contre les crues centennales ? Ceci met en évidence un premier intérêt pour effectuer une analyse économique : savoir qu'il peut être intéressant de tester d'autres projets d'investissement et d'utiliser éventuellement d'autres crues de projet.

Discussion et conclusion

L'étude présentée montre qu'il est possible de réaliser une ACB des projets de gestion des inondations en France et d'obtenir des résultats

¹⁶. Dans cette carte, nous avons représenté séparément les dommages moyens potentiels des activités économiques (en bleu) et les dommages potentiels des autres enjeux (en rouge), car leur méthode d'évaluation diffère.

qui contribuent à définir une stratégie de gestion des inondations. Dans notre cas, elle a permis de mettre en évidence l'importance de gérer d'abord les faibles crues, de type trentennale ou cinquantennale.

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que le coût d'acquisition des informations (le coût de l'étude) était raisonnable par rapport à la plus-value qui découle de l'utilisation de ces informations (l'économie de mettre en place une protection différente contre les inondations). Le cas de l'Orb reste cependant particulier car une étude sur les courbes de dommages du bâti, basée sur une analyse statistique d'événements historiques, pré-existait. Avant de considérer l'application de la méthode à d'autres bassins versant, une réflexion sur l'adaptation et l'adéquation des courbes de dommages paraît nécessaire et est actuellement en cours au sein du ministère chargé de l'aménagement et du développement durables. Une prochaine étape au niveau opérationnel consistera à effectuer l'analyse pour plusieurs types de projets et intégrer la méthode ainsi dans le processus de décision de la phase de pré-projet.

Ce qu'il aurait été intéressant de prendre en compte

Un certain nombre d'effets n'ont pas été évalués dans notre étude, même si cela aurait été intéressant et (théoriquement) possible : ce sont tout d'abord les risques de perte de vies humaines, risques qui jouent un rôle important dans la prise de décision politique sur les politiques de prévention. Ce sont ensuite les effets liés à la gestion de la crise : la rupture de digues par exemple, mais aussi les coupures de certains réseaux ou les déplacements de certains biens, comme les voitures. Enfin, d'autres effets peuvent être localement importants, même s'ils n'existaient pas pour

le cas de la basse vallée de l'Orb, par exemple ceux liés à la présence de zones naturelles ou d'activités économiques particulières (que ce soit une activité industrielle ou agricole). Pour certains de ces effets, la méthode des dommages évités peut être adaptée.

Nous n'avons pas non plus pris en compte les effets qui sont difficiles à mesurer monétairement : les impacts sur la santé comme le stress, des impacts environnementaux comme la pollution de l'eau ou les dépôts de limon en zone agricole ou des impacts paysagers qui peuvent résulter de la mise en œuvre des ouvrages d'aménagement. Ces impacts sont probablement mesurés de manière plus adéquate par d'autres méthodes d'évaluation que la méthode des dommages évités.

Là où il faudrait développer de nouvelles méthodes

Dans une perspective de recherche, il faudrait aussi penser à inclure dans la méthodologie des phénomènes plus complexes : des effets à long-terme comme les changements de l'occupation du sol, les effets en chaîne, tels que des pollutions indirectes, ou la résilience de certaines activités économiques aux inondations. Il serait également intéressant de connaître les répercussions économiques d'une inondation au niveau national, en prenant en compte les impacts économiques indirects et les paiements réalisés par les systèmes de mutualisation et d'assurance. Enfin, il existe encore peu de travaux qui font le lien entre les différentes méthodes d'évaluation citées plus haut : la méthode des dommages évités qui est centrée sur l'évaluation des dommages matériels et les autres méthodes, qui permettent de mesurer les effets non monétaires, et notamment les valeurs qui ne sont pas liées aux usages directs (valeurs de non-usage). □

Remerciements

Nous tenons à remercier le conseil général de l'Hérault pour avoir financé, avec l'aide de l'Europe, une étude économique sur la gestion des inondations qui est ici citée comme exemple. Nous voulons plus particulièrement remercier Cécile Retailleau (conseil général de l'Hérault) et les responsables des syndicats de gestion de la zone d'étude, Laurent Rippert (SMVO) et Pierre Enjalbert (syndicat Béziers-la-Mer), pour leur ouverture d'esprit et leur connaissance précieuse du terrain. Notre reconnaissance va également aux autres membres du comité de pilotage, Daniel Gras (région Languedoc-Roussillon), Philippe Monard (DDE¹⁷) et Bruno Ledoux (SIAV¹⁸). Par ailleurs, ce travail a bénéficié de l'aide de Vincent Germano, en stage au Cemagref, qui a effectué plusieurs enquêtes de terrain, de Jean-Stéphane Bailly (Engref) en matière de SIG, d'Alain Guerrero (SMVO), qui a mis à disposition les cartes du bassin versant, et des étudiants de la promotion 2006 de la VA-EAU Engref qui ont généré certaines cartes de résultats. Enfin, nous remercions les gestionnaires des campings et les agriculteurs, notamment MM. Amat, Cayroc, Nicolas et Noguès.

17. Direction départementale de l'équipement.

18. Syndicat interdépartemental du Vidourle.

Résumé

Cet article étudie la pertinence d'une analyse coût-bénéfice (ACB) basée sur la méthode des dommages évités pour évaluer des politiques de prévention des inondations. S'appuyant sur un cas d'étude dans la vallée de l'Orb (Hérault), il détaille les étapes de l'approche, notamment la modélisation des enjeux et le calcul des dommages moyens annuels. Il propose différentes formes de résultats : valeur actuelle nette, carte des dommages potentiels et carte des bénéfices attendus des projets, et montre comment ces résultats peuvent contribuer à la définition de stratégies de gestion des inondations, par exemple en déterminant les crues de projet. La discussion porte sur la transférabilité de la méthode, sur ses limites et les perspectives de développement.

Abstract

This article explores the relevance of implementing a Cost-Benefit Analysis (CBA) of flood prevention policies via the Damage Avoided approach. Based on a case study in the Orb catchment (Hérault), the article reminds the different steps of the approach, in particular the modelization of assets in floodplains and the calculus of mean annual damages. The article proposes different ways to present the results : the net present value, a map of potential damage and a map of expected benefits, and shows how these results can contribute to the definition of flood management strategies, for example by the choice of design-floods. The discussion deals with the transferability of the method, its limits and perspectives for further developments.

Bibliographie

- ARROW, K., SOLOW, R., PORTNEY, P.-R., LEAMER, E.-E., RADNER, R., SCHUMAN, H., 1993, *Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation*, NOAA 1993, p. 1-67.
- ANGELIER, N., 2006, *Évaluation et comparaison de l'efficacité de projets d'aménagement hydraulique à l'échelle du bassin versant*, mémoire de master 2 de l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg/Cemagref, 53 p. + annexes.
- BCEOM, SYNDICAT MIXTE DE LA VALLÉE DE L'ORB, 2000, *Étude de gestion du risque inondation dans le bassin versant de l'Orb*, 197 p. + annexes.
- BIN, O., POLASKY, S., 2004, Effects of Flood Hazards on Property Values : Evidence Before and After Hurricane Floyd, *Land Economics*, vol. 80, n° 4, p. 490-500.
- BROUWER, R., BATEMAN, I., 2005, Temporal stability and transferability of models of willingness to pay for flood control and wetland conservation, *Water Resources Research*, vol. 41, p. 1-6.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DU GARD, 2005, *Projet pilote : basse plaine du Vidourle et Petite Camargue*, 46 p. + annexes.
- CHAUVITEAU, C., VINET, F., 2006, La vulnérabilité des établissements recevant du public et des entreprises face aux inondations : une méthode d'analyse appliquée dans le bassin de l'Orb (Hérault), *Ingénieries-EAT*, n° 46, p. 15-33.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE L'HÉRAULT, BLC, SIEE, 1996, *Étude économique des crues de l'Orb de 17/12/1996 et 28/01/1996*, 34 p.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE L'HÉRAULT, BCEOM, CEMAGREF, 2006, *Étude socio-économique des inondations du bassin versant de l'Orb*, 62 p. + annexes.
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN, 2005, *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*, rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue, 112 p.
- DÉRONZIERS, P., TERRA, S., *Bénéfices économiques de la protection contre le risque d'inondation*, MEDD-D4E, série Études n° 06-E05, 97 p.
- GRELOT, F., 2004, *Gestion collective des inondations – Peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?*, thèse de l'École nationale supérieure d'arts et métiers, Paris, 383 p. + annexes.
- GENDREAU, N., LONGHINI, M., COMBE, P.-M., 1998, Gestion du risque d'inondation et méthode Inondabilité : une perspective socio-économique, *Ingénieries-EAT*, n° 14, p. 3-15.
- HENRY, C., 1984, La microéconomie comme langage et enjeu de négociations, *Revue économique*, n° 1, p. 177-197.
- HUET, P., 2000, Comment organiser le retour d'expérience, *La Houille Blanche*, n° 3-4, p. 118-125.
- LEDOUX, B., 2006, *La gestion du risque inondation*, Paris, Lavoisier, 770 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, D4E (Ledoux Consultants, Cereve, Cemagref), 2003, *Synthèse des évaluations socio-économiques des instruments de prévention des inondations*, 181 p.
- QUEENSLAND GOVERNMENT, Department of Natural Resources and Mines, 2002, *Guidance on the assessment of tangible flood damages*, Queensland Government, Australia.
- SHABMAN, L., STEPHENSON, K., 1996, Searching for the Correct Benefit Estimate : Empirical Evidence for an Alternative Perspective, *Land Economics*, vol. 72, n° 4, p. 433-449.
- TORTEROTOT, J.-P., 1993, *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*, thèse de l'École nationale des ponts et chaussées, Paris, 361 p. + annexes.
- ZHAI, G. et al., 2006, Willingness to Pay for Flood Risk Reduction and its Determinants in Japan, *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 42, n° 4, p. 927-940.